Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 17, No. 5, Dec- Jan 2021, p. 761-772

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۷، شماره ۵، آذر- دی ۱۴۰۰، ص.۷۷۲ -۷۶۱

مقاله پژوهشی

بررسی خصوصیات کیفی و پروفایل اسید چرب پنیر سیاه‌مزگی غنی شده با روغن ماهی ریزپوشانی شده

انسیه نجات پیرسرایی[۱]- اسحق زکی‌پور رحیم‌آبادی[۲]*- آریا باباخانی[۳]- الهام امین‌پور دافچاهی[۱]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۴/۱۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۸/۲۱

چکیده

این تحقیق به‌منظور بررسی ارزش تغذیه‌ای و پروفایل اسیدچرب پنیر سیاه‌مزگی غنی شده با اسیدهای چرب امگا-۳ روغن ماهی انجام گردید. برای این منظور، ابتدا پروسه ریزپوشانی کردن روغن ماهی با پروتئین آب پنیر با نسبت‌های ۲:۱ صورت پذیرفت و روغن ریزپوشانی شده در پروسه تولید پنیر سیاه‌مزگی به آن اضافه گردید. تیمارهای تحقیق شامل تیمار شاهد و تیمارهای حاوی روغن ریزپوشانی شده، به‌ترتیب تیمار ۱ (۰/۵ درصد) و تیمار ۲ (۱ درصد) بودند. در این تحقیق، بررسی پروفایل اسید چرب، شاخص‌های پراکسید، تیوباربیتوریک اسید و همچنین آنالیز حسی انجام شد. مجموعا تعداد ۲۲ نوع اسیدچرب در نمونه‌های پنیر سیاه‌مزگی شناسایی گردید. نسبت اسیدهای چرب غیراشباع به اسیدهای چرب اشباع در تیمارهای ۱ و ۲ به‌ترتیب ۰/۷۸ و ۰/۸۳ اندازه‌گیری گردید. محتوای ایکوزاپنتاانوئیک اسید و دوکوزاهگزاانوئیک اسید به‌ترتیب در تیمار ۱ (۰/۰۹ و ۰/۱۶درصد) و تیمار ۲ (۰/۱۶ و ۰/۴۷ درصد) به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از تیمار شاهد (۰/۰۶ و ۰/۰۴ درصد) بود ($p<0/05$). محتوای تیوباربیتوریک اسید در تمامی نمونه‌ها بسیار پایین‌تر از حد مجاز آن بود. ارزیابی حسی نمونه‌های شاهد و تیمارهای غنی‌شده پنیر سیاه‌مزگی نشان داد که تمامی پنیرها از مطلوبیت کل قابل قبولی برخوردار بودند.

واژه‌های کلیدی: پنیر سیاه‌مزگی، غنی‌سازی، آنالیز حسی، ریزپوشانی کردن

مقدمه

ماهی و سایر آبزیان از جمله مواد غذایی سرشار از پروتئین، چربی مفید، مواد معدنی و انواع ویتامین‌ها می‌باشند (Stancheva *et al*., 2010). مهم‌ترین خصوصیت آبزیان از لحاظ ارزش تغذیه‌ای، علاوه بر دارا بودن مقدار قابل توجهی پروتئین، حضور فراوان اسیدهای اسید چرب غیراشباع در چربی موجود در بافت آن‌هاست (Harlioğlu, 2012). چربی ماهی به‌عنوان منبع غنی از چربی‌های با زنجیره بلند از خانواده اسیدهای چرب امگا-۳ (n-3) شناخته شده است (Harlioğlu, 2012). اسیدهای چرب خانواده امگا-۳ و امگا-۶ برای انسان بسیار ضروری هستند. بدن انسان قادر به سنتز این اسیدهای چرب نمی‌باشد و نیاز بدن به این اسیدهای چرب باید از طریق تغذیه برطرف می‌گردد (Jaczynski, 2008).

تحقیقات نشان داده‌اند که اسیدهای چرب بلند زنجیره چندغیراشباعی خانواده امگا-۳ نظیر EPA و DHA که در روغن ماهی و آبزیان به‌وفور یافت می‌شوند دارای تاثیرات بسیار زیادی بر سلامت افراد می‌باشند. روغن ماهی بیماری‌های قلبی را به حداقل می‌رساند. مقدار تری‌گلیسیرید خون را کم می‌کند. تجمع پلاکت‌های خونی را کم می‌کند. سلامت مغز را تأمین کرده و برای بیماران مبتلا به ام‌اس[۴] (MS) مفید می‌باشد. مصرف منظم روغن ماهی باعث بهبود ورم مفاصل می‌شود. خطر پیشرفت سرطان سینه و سرطان روده بزرگ و سرطان پروستات را کاهش می‌دهد. مقادیر پایین و کم از اسید چرب امگا-۳ با افسردگی در ارتباط است (Kromhout *et al*., 2012). با توجه به فوائد متعدد این ترکیبات بسیار باارزش، بسیاری از جوامع علمی دنیا، توصیه‌هایی برای مصرف مقادیر حداقلی از روغن ماهی برای حفظ سلامت جامعه خود داشته‌اند. برای مثال: سازمان‌هایی نظیر انجمن قلب آمریکا(AHA)[۵] و جامعه بین‌المللی برای مطالعه در خصوص اسیدهای چرب و چربی‌ها (ISSFAL)[۶]، پیشنهادهای متفاوتی برای مصرف اسیدهای چرب EPA و DHA ارائه نموده‌اند که یکی از آخرین توصیه‌های آن‌ها، مصرف روزانه ۵۰۰ میلی‌گرم از این اسیدهای چرب می‌باشد. به‌همین سبب در توصیه‌های رژیم غذایی، افزایش مصرف

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشیار و استادیار، گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان.
(*- نویسنده مسئول: Email: e.zakipoor@guilan.ac.ir)
DOI: 10.22067/ifstrj.v17i5.87590

4 Multiple sclerosis
5.American heart association
6.International society for the study of Fatty acids and lipids

اسیدهای چرب خانواده امگا-۳ مشاهده می‌گردد (Kolanowski and Laufenberg, 2006). از روش‌های مؤثر توصیه شده برای افزایش مصرف اسیدهای چرب بلند زنجیره امگا-۳، غنی‌سازی غذاها با روغن خالص ماهی می‌باشد، که البته با چالش‌هایی همراه می‌باشد. چالش اصلی در تولید این غذاها، مربوط به پایداری روغن ماهی است (Kolanowski and Laufenberg, 2006).

شیر و محصولات لبنی نقش مهمی در تغذیه انسان دارند. پنیر متنوع‌ترین محصول به‌دست آمده از شیر می‌باشد که در نقاط مختلف جهان، صدها نوع از آن با شکل و طعم متفاوت و با روش‌های تولید گوناگون ساخته می‌شود. در ایران نیز انواع مختلفی از پنیرها تولید می‌گردد. پنیر سیاه‌مزگی یکی از انواع پنیرهای سنتی رسیده ایران می‌باشد که در استان گیلان و در مناطق ییلاقی این استان تولید شده و طرفداران خاص خود را در منطقه شمال کشور و استان‌های مجاور دارد (Partovi, 2014). پنیر یک ماده غذایی غنی از انواع مواد مغذی ضروری از جمله پپتیدهای زیست‌فعال، اسیدهای آمینه، چربی‌ها، ویتامین‌هاو مواد معدنی می‌باشد (Walther *et al*., 2008). علیرغم ارزش غذایی بسیار بالای محصولات لبنی، این محصولات دچار کمبودهایی نیز می‌باشند. برای مثال در بررسی پروفایل اسیدهای چرب محصولات لبنی مشخص گردیده‌است که محتوای اسیدهای چرب بلند زنجیره خانواده امگا-۳ در آن‌ها بسیار پایین است (Ganesan *et al*., 2011). پنیر به‌عنوان ماتریکسی غذایی، برای انتقال و تحویل اجزای عملکردی از جمله پروبیوتیک‌ها، پپتیدهای زیست فعال و اسیدهای چرب پیشنهاد شده است (Hayes *et al*., 2006). محصولات لبنی مانند پنیر و کره، سیستم‌های خوبی برای انتقال و تحویل سطوح بالای اسیدهای چرب خانواده امگا-۳ هستند (Kolanowski and Weißbrodt, 2007).

امروزه مصرف کنندگان به‌طور قابل توجهی به غذاهای کاربردی (عملکردی) علاقه‌مند گردیده‌اند. این غذاها با مواد زیست فعال (ویتامین‌ها، مواد معدنی، آنتی‌اکسیدان‌ها، اسیدهای چرب امگا-۳، عصاره‌های گیاهی، پروبیوتیک‌ها و غیره) غنی‌سازی شده و فواید سلامتی آن‌ها به اثبات رسیده‌اند (Agustin *et al*., 2010). غنی‌سازی محصولات غذایی با اسیدهای چرب بلند زنجیره خانواده امگا-۳ به‌عنوان روشی ابتکاری برای ارائه مزایای سلامتی به افراد بدون تغییر در عادات غذایی آن‌ها در نظر گرفته می‌شود (Grag *et al*., 2006).

از جمله تحقیقاتی که در زمینه غنی‌سازی محصولات لبنی با انواع مواد مغذی و بیواکتیو انجام شده‌است می‌توان به تحقیقات Ye و همکاران (۲۰۰۹) در غنی‌سازی پنیر با روغن ماهی، Bermúdez-Aguirre و Barbosa-Cánovas (۲۰۱۱) در بررسی غنی‌سازی انواع پنیرها با روغن‌های گیاهی و جانوری، Tamjidi و همکاران (۲۰۱۱) در غنی‌سازی ماست با روغن ماهی، Hughes و همکاران (۲۰۱۲) در غنی‌سازی پنیر بز با روغن ماهی، Farbod و همکاران (۲۰۱۳) در بررسی غنی‌سازی پنیر فتا با روغن ماهی و روغن زیتون، Stratulat و همکاران (۲۰۱۵) در غنی‌سازی پنیر با ویتامین D و روغن ماهی، Hejazian و همکاران (۲۰۱۶) در بررسی پنیر غنی شده با روغن ریزپوشانی شده ماهی کیلکا و Jamshidi و همکاران (۲۰۱۹) در خصوص بهینه‌سازی پروسه ریزپوشانی هیدرولایزات پروتئین ماهی و روغن ماهی با استفاده از امولسیون دوگانه W1/O/W2 و بررسی تاثیر آن بر کیفیت حسی ماست غنی شده، اشاره نمود.

همان‌طور که اشاره گردید، برخی از مطالعات فوق به بررسی تاثیر غنی‌سازی برخی از انواع پنیرها با روغن ریزپوشانی شده ماهی پرداخته‌اند. نتایج این تحقیقات و بررسی پروفایل اسید چرب بیان‌گر وجود اسیدهای چرب بلند زنجیره خانواده امگا-۳ (نظیر EPA[1] و DHA[2])در محصول نهایی بوده است. به‌هرحال با توجه به حساسیت اسیدهای چرب بلند زنجیره به اکسیداسیون حرارتی و از بین رفتن برخی از چربی ماهی در جریان تولید، این مطالعات به تمامی جنبه‌ها در بررسی پروفایل اسید چرب پنیر و پروفایل اسید چرب بخش آب پنیر اشاره‌ای نداشته و هم‌چنین تاثیر اکسیداسیون بر پروفایل اسید چرب پنیر، در آن‌ها بررسی نگردیده است. از طرفی، مطالعه‌ای جهت بررسی امکان غنی‌سازی انواع پنیرهای بومی ایران صورت نپذیرفته است. لذا تحقیق حاضر به بررسی این‌که آیا غنی‌سازی پنیر سیاه‌مزگی با روغن ریزپوشانی شده ماهی، سبب بهبود پروفایل اسید چرب محصول خواهد گردید، می‌پردازدو تغییرات ارگانولپتیک محصول نهایی ناشی از افزودن روغن ماهی و ترکیبات اکسیداسیونی نیز مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

مواد و روش‌ها

برای انجام این تحقیق ابتدا اقدام به ریزپوشانی کردن روغن ماهی تهیه شده گردیده، از شیر گاو محلی برای تولید پنیر سیاه‌مزگی طبق دستورالعمل استفاده گردید. در ادامه در مرحله دلمه بستن شیر، اقدام به اضافه کردن روغن ریزپوشانی شده در پنیر تولیدی بر اساس تیمارهای تحقیق گردید. تیمارهای تحقیق عبارت از: ۱- تیمار شاهد، ۲- تیمار حاوی ۰/۵ درصد روغن ماهی ریزپوشانی شده و ۳- تیمار ۱ درصد بودند. پروفایل اسید چرب، هم در نمونه‌های آب پنیر و هم در نمونه‌های پنیر مورد بررسی قرار گرفتند. از آن‌جایی‌که به‌طور مرسوم، آب پنیر حاصله دور ریخته می‌شود، به‌منظور بررسی وضعیت اسیدهای چرب موجود در آن، کار استخراج روغن و بررسی پروفایل اسید چرب آب پنیر بلافاصله بعد از تولید پنیر انجام گردید. اما با توجه به‌این‌که، پنیر سیاه‌مزگی بعد از ۶۰ روز رسیده و آماده مصرف می‌گردد، استخراج چربی

1 Eicosapentaenoic acid

2 Docosahexaenoic acid

و بررسی پروفایل اسید چرب آن بعد از ۲ ماه صورت پذیرفت. خصوصیات شیمیایی در روزهای صفر، ۳۰ و ۶۰ و آنالیز حسی در روز ۶۰ انجام گردید.

روش ریزپوشانی کردن روغن ماهی

برای این منظور ابتدا پودر پروتئین آب پنیر (German Prot, WPC 80 instant, Germany) با محتوای پروتئینی ۷۵ درصد (WHC 75) تهیه شد. جهت آماده‌سازی امولسیون و ریز پوشانی روغن ماهی، ابتدا محلول ۳۰ درصد (وزنی/ وزنی) پودر پروتئین آب پنیر با افزودن مقادیر مناسب آب دیونیزه در دمای اتاق و با استفاده از یک همزن مغناطیسی تهیه گردید. برای خروج حباب‌های هوا در داخل محلول تهیه شده، از هموژنایزر استفاده گردید. سپس به مدت یک شبانه روز در یخچال نگهداری گردیده تا حداکثر جذب آب توسط مولکول‌های پروتئینی پودر آب پنیر صورت پذیرد. برای تهیه امولسیون مناسب، روغن ماهی آزاد (NUGALE Pharmaceutical Inc. Canada)، به‌ترتیب حاوی ۱۸۰، ۱۲۰ و ۳۶ میلی‌گرم در ۱۰۰۰ گرم روغن EPA، DHA و DPA[1]، به نسبت ۵۰ درصد وزن پودر پروتئین آب پنیر به محلول دیواره (با توجه به مقدار پودر پروتئینی آب پنیر استفاده شده برای تهیه محلول ۳۰ درصدی) در حالت به‌هم خوردن (با سرعت rpm۳۵۰۰ و به مدت ۲ دقیقه) به آن اضافه شد. pH محلول در انتهای این مرحله سریعاً اندازه‌گیری گردید. تا این مرحله از کار از روش Safari و همکاران (۲۰۱۲) با تغییراتی برگرفته شده از مقاله Rosenberg و Young (۱۹۹۳) استفاده گردید. در ادامه برای امولسیون کردن و تولید روغن ریزپوشانی شده، از دستگاه اولتراسوند در دامنه نوسان ۸۰ درصد به مدت ۲/۵ دقیقه برای هموژن کردن امولسیون محلول آماده شده در مرحله قبل استفاده گردید. در هر بار هموژن کردن با دستگاه اولتراسوند، ۱۵۰ سی‌سی محلول مورد استفاده قرار گرفته، محلول در ظروف شیشه‌ای ۲۵۰ سی‌سی قرار داده شده و برای ثابت نگه‌داشتن دما در حدود ۲۶ درجه سانتی‌گراد، ظرف شیشه‌ای با فویل آلومینیومی به خوبی بسته شد (Daniel Estrada Andino, 2007). در ادامه نمونه به مدت ۲۴ ساعت در فریزر منفی ۷۰ درجه سانتی‌گراد منجمد شده و با دستگاه خشک کن انجمادی در دمای منفی ۴۰ درجه سانتی‌گراد و فشار ۰/۷ میلی‌بار به مدت ۷۲ ساعت خشک می‌گردند. نمونه پودر شده در ظروف کاملاً تیره در بسته فریزر تا زمان انجام تحقیق و بررسی آزمایشگاهی نگهداری گردیدند (Jafarpour *et al*., 2018).

تهیه پنیر سیاه‌مزگی و اضافه کردن روغن ریزپوشانی شده

طبق دستورالعمل مرسوم تولید پنیر سیاه‌مزگی، اقدام به تولید این پنیر گردید. ابتدا شیر (گاو محلی) از روستاهای شهرستان شفت تهیه گردید و در اسرع وقت (ظرف مدت ۲ ساعت) تحت شرایط بهداشتی به منزل یکی از روستاییان منتقل گردید. شیرها ابتدا به مدت ۵ یا ۱۰ دقیقه جوشانده شدند تا باکتری‌ها و مواد آلوده‌کننده احتمالی موجود در آن از بین بروند. در ادامه، شیر بر اساس تیمارها به سه بخش با سه تکرار تقسیم گردیدند. برای هر تیمار ۱۰۰۰ گرم شیر اختصاص یافت. بعد از جوشیدن شیر و ولرم شدن آن، مایه مخصوص پنیر (مایه پنیر صنعتی انزیمکس، ساخت اروپا، بسته‌بندی شده تحت لیسانس توسط آنزیم‌های صنعتی ایران) به میزان ۵ گرم اضافه گردید، روند دلمه بستن پنیر به مدت ۱ تا ۲ دقیقه بعد از اضافه کردن مایه پنیر صورت پذیرفت. برای بهبود دلمه بستن، چندین بار محلول شیر و مایه پنیر هم زده شد. به محض شروع اولین نشانه‌های دلمه بستن، روغن ریزپوشانی شده به‌صورت پودری و بر اساس میزان تعیین شده برای تیمارهای تحقیق (یعنی ۰/۵ و ۱/۰ درصد از شیر مصرفی) به پنیرها اضافه گردید. هم‌زدن چندین باره شیر در پروسه دلمه بستن، سبب پخش یکنواخت پودر روغن ریزپوشانی شده در پنیر می‌گردید. بعد از گذشت زمان و بسته شدن نسبی پنیر، شروع به فشردن پنیر گردیده و آب پنیر خارج شده و محصول به شکل قالب‌های ۱۰۰ گرمی درآورده شدند. به پنیرها به‌مقدار مشخص نمک (۵-۶ گرم) اضافه شد و در ظروف یکبار مصرف در بسته‌های زیپ‌کیپ به مدت ۲ ماه در یخچال نگه‌داری شد تا کاملا رسیده شوند.

روش استخراج چربی

جهت استخراج چربی برای آنالیز پروفایل اسیدچرب از روش Bakar و همکاران (۲۰۰۸) به شرح زیر استفاده گردید. مقدار ۲۰ گرم پنیر را درون لوله ریخته و ۲۰ میلی‌لیتر کلروفرم و ۴۰ میلی‌لیتر متانول به آن اضافه کرده و حدود ۲ دقیقه مخلوط گردید. سپس ۲۰ میلی‌لیتر کلروفرم به لوله اضافه کرده و ۳۰ ثانیه مخلوط گردید. سپس به محتویات لوله مقدار ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه کرده و به مدت ۳۰ ثانیه دیگر مخلوط گردید. در نهایت محلول را در دکانتر ریخته به مدت ۲۴ ساعت در محیط تاریک قرار گرفت تا فازبندی گردد. ۲ فاز تشکیل می‌گردد که فاز بالایی شامل متانول و آب مقطر است و فاز پایینی شامل چربی و کلروفرم بود. فاز پایینی از دکانتور خارج شده و پس از عبور از کاغذ صافی به بشر منتقل گردید. محلول نهایی شامل کلروفرم و چربی در درون آون در دمای ۳۰ درجه قرار گرفت تا کلروفرم آن تبخیر شود.

1 Docoxapentaenoic acid

متیل‌استر کردن نمونه چربی و استفاده از دستگاه گاز کروماتوگراف برای آنالیز پروفایل اسید چرب

برای متیل‌استر کردن اسیدهای چرب از روش Firestone (۱۹۹۸) استفاده شد. ۵ میلی‌لیتر سود متانولی ۲٪ (۲ گرم NaOH در ۱۰۰ گرم متانول) به چربی استخراج شده اضافه گردید. سپس درب ظرف بسته و به شدت تکان داده شد و به مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب جوش قرار گرفت. پس از خنک شدن محلول، ۳ میلی‌لیتر محلول BF_3 (تری‌بورفلوراید) به ترکیبات فوق اضافه شد و به مدت ۳-۲ دقیقه در حمام آب جوش قرار گرفت. به مواد حاصل، ۱ میلی‌لیتر هگزان نرمال اضافه شده و بعد از تکان دادن مواد به آن ۱ میلی‌لیتر محلول نمک اشباع (۳۰۰ گرم NaCl در ۱ لیتر آب مقطر) اضافه گردید. محلول به‌دست آمده به‌شدت تکان داده شد و در جایی ساکن، مستقر گردید. بعد از پدیدار شدن دو فاز جداگانه، فاز بالایی به دقت جدا گردید.

برای بررسی و شناسایی اسیدهای چرب موجود در نمونه از دستگاه گاز کروماتوگراف فیلیپس (Philips, Netherland) مجهز به ستون کاپیلاری و آشکارساز نوع یونیزاسیون شعله‌ای (FID) استفاده شد.۰/۲ میکرولیتر از نمونه استری شده با استفاده از سرنگ میکرولیتری به دستگاه گاز کروماتوگراف تزریق شد. دمای اولیه ستون روی ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد تنظیم شد. بعد از مدت ۵ دقیقه،دمای ستون با سرعت ۲۰ درجه در دقیقه به ۱۸۰ درجه رسانده شد. به مدت ۱۰ دقیقه، دما در این درجه باقی مانده و سپس با سرعت ۱ درجه سانتی‌گراد در دقیقه به دمای ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد رسید. پس از یک دقیقه، دمای ستون با سرعت ۳۰ درجه سانتی‌گراد در دقیقه تا دمای ۲۳۰ درجه افزایش یافت. در انتها، ستون به مدت ۵ دقیقه در دمای ۲۳۰ درجه سانتی‌گراد باقی ماند. از گاز هلیم (با خلوص ۹۹/۹۹۹ درصد) به‌عنوان گاز حامل استفاده گردید. از مقایسه زمان بازداری پیک‌های مجهول کروماتوگرام با پیک‌های به‌دست آمده از محلول‌های استاندارد اسیدهای چرب، برای شناسایی اسیدهای چرب استفاده گردید.

آزمون‌های شیمیایی

برای اندازه‌گیری مقدار پراکسید[1](PV) از روش (Egan *et al*., 1997) استفاده گردید. برای این منظور، ابتدا برای استخراج روغن از نمونه، از محلول کلروفرم استفاده شده و در ادامه به محلول، اسید استیک، یدور پتاسیم اشباع، آب مقطر و محلول نشاسته اضافه نموده و در نهایت با استفاده از تیوسولفات سدیم ۰/۰۱ نرمال تیتراسیون صورت می‌پذیرد. اندازه‌گیری مقدار تیوباربیتوریک اسید[2] (TBA) به روش رنگ‌سنجی و با استفاده از روش Namaulema و همکاران (۱۹۹۹) صورت پذیرفت. در این روش، پس از مخلوط کردن نمونه چرخ شده و به حجم رساندن نمونه با محلول ۱- بوتانل در یک ارلن ۲۵ میلی‌لیتری، ۵ میلی‌لیتر از نمونه برداشته شده و پس از قرار دادن در لوله‌های درب‌دار به مدت دو ساعت در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد در حمام آب قرار می‌گیرد. پس از سرد شدن نمونه، مقدار جذب (As) در طول موج ۵۳۰ نانومتر در مقابل شاهد آب مقطر (Ab) قرائت می‌گردد.مقدار TBA بر حسب میلی‌گرم مالون‌دی آلدئید در کیلوگرم بیان گردید. برای اندازه‌گیری رطوبت، نمونه‌ها به مدت یک شبانه‌روز در آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند (AOAC, 2005). مقدار چربی کل نمونه با استفاده از دستگاه سوکسله و مقدار پروتئین کل با استفاده از روش کجلدال اندازه‌گیری گردید (AOAC, 2005) . محتوای خاکستر نمونه‌ها نیز پس از حرارت دیدن نمونه به مدت ۵ ساعت در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد در کوره الکتریکی محاسبه گردید (AOAC, 2005).

ارزیابی حسی

برای ارزیابی حسی پنیرها از روش هدونیک ۹ نقطه‌ای استفاده گردید (Ranken *et al*., 1993). پس از تولید پنیرها، ویژگی‌های رنگ، عطر، طعم و مزه، ظاهر، بافت و مقبولیت کلی مورد سنجش قرار گرفت. سطوح ارزیابی از ا تا ۹ (شدیداً دوست ندارم=۱، خیلی دوست ندارم=۲، نسبتاً دوست ندارم=۳، کمی دوست ندارم=۴، نه دوست ندارم و نه دوست دارم=۵، کمی دوست دارم=۶، نسبتاً دوست دارم=۷، خیلی دوست دارم=۸، شدیداً دوست دارم=۹) مشخص گردید. نمونه‌ها با کدگذاری متفاوت در داخل یک ظرف در اختیار افرادارزیاب قرار داده شد. از تعداد ۲۰ نفر از اساتید و دانشجویان گروه شیلات با نسبت جنسی ۵۰ به ۵۰ (خانم به آقا) و آشنا به موضوع ارزیابی حسی و پس از ارائه آموزش کوتاه، استفاده گردید.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌های

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Minitab، نسخه 18 انجام گردید. ابتدا نرمال بودن داده‌ها با آزمون کلموگلراف-اسمیرونوف مورد بررسی قرار گرفته و به‌منظور بررسی وجود یا عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمارها و هم‌چنین تاثیر زمان نگهداری بر محتوای ترکیبات شیمیایی از روش تجزیه واریانس یک طرفه (One way ANOVA) و آزمون توکی (Tukey) در سطح ۵٪ استفاده گردید. جهت بررسی معنی‌داری شاخص‌های حسی نیز از آزمون غیرپارامتریک کروسکال‌والیس استفاده شد.

نتایج و بحث

پروفایل اسید چرب نمونه‌های آب پنیر و پنیر سیاه‌مزگی

پروفایل اسید چرب آب پنیر و پنیر سیاه‌مزگی در نمونه شاهد و نمونه‌های حاوی ۰/۵ و ۱ درصد روغن ریزپوشانی شده ماهی در جدول

1 Peroxide value

2 Thiobarbituric acid

۱ آورده شده است. در بخش آب پنیر نمونه‌های تیمار ۰/۵ و ۱ درصد، تعداد ۲۰ نوع اسید چرب شناسایی گردید و این در صورتی بود که در نمونه شاهد، محتوای اسیدهای چرب EPA و DPA صفر بوده و بخش آب پنیر نمونه شاهد فاقد این دو اسید چرب بوده است. مجموع اسیدهای چرب بلند زنجیره چندغیراشباعی (PUFA)، محتوای اسیدهای چرب خانواده امگا-۳ و همچنین نسبت اسیدهای چرب امگا-۳ به امگا-۶ در تیمارهای ۰/۵ و ۱ درصد در مقایسه با نمونه شاهد بیش‌تر بودند. نکته قابل تامل در بررسی پروفایل اسید چرب نمونه‌های شاهد آب پنیر و پنیر سیاه‌مزگی وجود اسیدهای چرب بلند زنجیره خانواده امگا-۳ در آن‌ها می‌باشد. نتایج متناقضی در این خصوص در مطالعات سایر محققین به چشم می‌خورد که می‌تواند ناشی از نوع شیر مصرفی برای تولید پنیر باشد.

جدول ۱- پروفایل اسید چرب نمونه‌های آب پنیر در روز تولید و پروفایل پنیر سیاه‌مزگی ۲ ماه پس از تولید

اسیدهای چرب	پروفایل اسید چرب نمونه‌های آب پنیر			پروفایل اسید چرب نمونه‌های پنیر سیاه‌مزگی		
	شاهد	تیمار ۰/۵ درصد	تیمار ۱ درصد	شاهد	تیمار ۰/۵ درصد	تیمار ۱ درصد
C8:0	۰/۷۸± ۰/۰۲ a	۰/۵۸± ۰/۰۴ a	۰/۷۶± ۰/۱۱ a	۵/۷۶± ۰/۰۸ A	۳/۷۲± ۰/۲۰ B	۱/۸۶± ۰/۳۷ C
C10:0	۱/۱۰± ۰/۰۱ a	۱/۰۷± ۰/۰۶ a	۱/۱۷± ۰/۱۵ a	۱/۳۷± ۰/۲۸ A	۰/۹۳± ۰/۰۶ A	۱/۰۱± ۰/۰۴ A
C14:0	۶/۱۴± ۰/۰۴ b	۶/۵۰± ۰/۰۴ a	۶/۲۲± ۰/۰۳ b	۵/۸۹± ۰/۰۴ A	۵/۶۳ ±۰/۰۶ B	۵/۸۴± ۰/۰۴ A
C14:1	ND	ND	ND	۰/۷۷± ۰/۰۹ A	۱/۱۴± ۰/۰۰ A	۱/۱۲± ۰/۱۵ A
C15:0	۲/۳۰± ۰/۰۷ a	۱/۶۵± ۰/۱۳ a	۱/۹۴± ۰/۴۴ a	۰/۵۸± ۰/۰۳ B	۱/۲۲± ۰/۰۱ A	۱/۱۸± ۰/۱۶ A
C15:1	ND	ND	ND	۰/۳۲± ۰/۰۶ A	۰/۲۱± ۰/۰۶ A	۰/۲۲± ۰/۰۳ A
C16:0	۲۷/۷۰± ۰/۰۷ a	۲۸/۴۴± ۰/۴۵ a	۲۸/۱۶± ۰/۶۲ a	۲۶/۴۰± ۰/۱۱ A	۲۶/۲۸± ۰/۱۶ A	۲۶/۶۲± ۰/۲۷ A
C16:1	۱/۹۳± ۰/۰۲ a	۲/۰۲± ۰/۰۱ a	۲/۰۴± ۰/۰۵ a	۱/۸۶± ۰/۰۹ A	۱/۹۱± ۰/۰۴ A	۲/۶۰± ۰/۴۶ A
C17:0	۱/۰۳± ۰/۰۱ a	۱/۱۳± ۰/۰۲ a	۱/۰۸± ۰/۰۶ a	۱/۰۰± ۰/۰۲ A	۰/۹۸± ۰/۰۱ A	۱/۱۵± ۰/۱۸ A
C17:1	۰/۲۸± ۰/۰۱ a	۰/۲۹± ۰/۰۲ a	۰/۳۱± ۰/۰۰ a	۰/۳۳± ۰/۰۳ B	۰/۴۳± ۰/۰۱ AB	۰/۵۴± ۰/۰۴ A
C18:0	۱۵/۰۸± ۰/۰۹ab	۱۴/۲۸± ۰/۱۱ b	۱۵/۳۲± ۰/۳۹ a	۱۳/۹۲± ۰/۲۳ A	۱۴/۶۳± ۰/۱۶ A	۱۴/۵۰± ۱/۱۵ A
C18:1 (n-9) c	۳۴/۸۷± ۰/۰۶ b	۳۴/۷۹± ۰/۱۳ b	۳۵/۵۹± ۰/۱۳ a	۳۳/۶۹± ۰/۵۳ B	۳۵/۲۰± ۰/۰۶ A	۳۴/۲۱± ۰/۲۸ AB
C18:1 (n-11) c	۱/۵۶ ± ۰/۰۵ a	۰/۷۴ ± ۰/۰۶ b	۰/۰۰± ۰/۰۰ c	۱/۳۱± ۰/۰۸ A	۰/۰۰± ۰/۰۰ B	۱/۲۱± ۰/۱۰ A
C18:2 (n-6) c	۳/۲۷± ۰/۰۷ b	۳/۷۰± ۰/۰۷ a	۳/۴۳± ۰/۰۶ ab	۲/۵۷± ۰/۳۸ A	۲/۸۷± ۰/۰۰ A	۲/۴۸± ۰/۴۵ A
C18:3 (n-6)	ND	ND	ND	۰/۱۵± ۰/۰۴ A	۰/۲۲± ۰/۰۰ A	۰/۲۳± ۰/۰۵ A
C18:3 (n-3)	۱/۷۷ ± ۰/۰۱ b	۱/۹۱± ۰/۰۲ a	۱/۷۴±۰/۰۴ b	۱/۸۲± ۰/۰۴ A	۱/۷۲± ۰/۰۱ A	۱/۷۳± ۰/۰۸ A
C20:0	۲/۰۸± ۰/۰۴ a	۱/± ۰/۰۳ a	۱/۹۶± ۰/۰۲ a	۲/۲۰± ۰/۱۳A	۲/۲۶± ۰/۰۱ A	۲/۲۴± ۰/۲۱ A
C20:1	۰/۲۵± ۰/۰۱ a	۰/۲۹± ۰/۰۳ a	۰/۰۰± ۰/۰۰ b	۰/۳۲± ۰/۰۰ A	۰/۳۲± ۰/۰۱ A	۰/۴۶± ۰/۲۷ A
C20:3 (n-3)	ND	ND	ND	۰/۰۰± ۰/۰۰ B	۰/۰۰± ۰/۰۰ B	۰/۰۷± ۰/۰۳ A
C20:5 (n-3) EPA	۰/۰۰± ۰/۰۰ b	۰/۰۷± ۰/۰۰ a	۰/۰۰± ۰/۰۰ b	۰/۰۶± ۰/۰۱ B	۰/۰۹± ۰/۰۱ AB	۰/۱۶± ۰/۰۴ A
C22:5 (n-3) DPA	۰/۰۰± ۰/۰۰ b	۰/۱۱± ۰/۰۱ a	۰/۰۹± ۰/۰۳ a	۰/۰۶± ۰/۰۱ B	۰/۱۳± ۰/۰۲ A	۰/۱۴± ۰/۰۱ A
C22:6 (n-3) DHA	۰/۰۸± ۰/۰۱ b	۰/۰۸± ۰/۰۱ b	۰/۲۴± ۰/۰۶ a	۰/۰۴± ۰/۰۱ C	۰/۱۷± ۰/۰۲ B	۰/۴۷± ۰/۰۲ A
ΣSFA	۵۶/۲۱	۵۶/۶۱	۵۶/۶۱	۵۷/۱۲	۵۶/۶۱	۵۴/۴۰
ΣMUFA	۳۸/۸۹	۳۸/۱۳	۳۷/۹۴	۳۸/۶۰	۳۹/۲۱	۴۰/۳۶
ΣPUFA	۵/۱۲	۵/۸۷	۵/۵۰	۴/۷۰	۵/۲۰	۵/۲۸
Σ n-3 PUFA	۱/۸۵	۲/۱۷	۲/۰۷	۱/۹۸	۲/۱۱	۲/۵۷
n-3/n-6 ratio	۰/۵۶	۰/۵۸	۰/۶۰	۰/۷۲	۰/۶۸	۰/۹۴

داده‌های جدول شامل میانگین ± انحراف معیار دو تکرار است. (n= ۲)

حروف بزرگ (A,B,..) متفاوت در هر ردیف نشانه وجود اختلاف معنی‌دار بین نمونه‌های پنیر سیاه‌مزگی در سطح ۵ درصد می‌باشد.

حروف کوچک (a,b,..) متفاوت در هر ردیف نشانه وجود اختلاف معنی‌دار بین نمونه‌های آب پنیر در سطح ۵ درصد می‌باشد.

ND: تشخیص داداه نشدند.

در تحقیق صورت پذیرفته شده توسط Renuka و همکاران (۲۰۱۶) اسیدهای چرب بلند زنجیره خانواده امگا-۳ در نمونه شاهد مشاهده نگردیدند. همچنین، Hejazian و همکاران (۲۰۱۶) عنوان نمودند که شیر مورد استفاده در تحقیق آنها جهت تولید پنیر غنی‌سازی شده با روغن ماهی کیلکا، فاقد اسیدهای چرب EPA و DHA (اسیدهای چرب بلند زنجیره خانواده امگا-۳) بوده است. این در حالی است که در تحقیق Bermúdez-Aguirre و Barbosa-Cánovas (۲۰۱۱) اسیدهای چرب بلند زنجیره خانواده امگا-۳ در برخی از انواع پنیرهای مورد بررسی گزارش گردیده‌است. از آنجایی‌که بیش‌تر مطالعات انجام شده بر روی پروتئین آب پنیر، بر روی محصول و ترکیب پروتئین آن متمرکز می‌باشند، لذا امکان مقایسه این بخش از نتایج با سایر نتایج وجود نداشته است. در بررسی مقایسه‌ای پروفایل اسیدهای چرب، بین بخش آب پنیر و نمونه‌های پنیر سیاه‌مزگی، تفاوت‌هایی مشاهده گردید. از جمله این‌که، محتوای اسیدهای چرب C20:5 (n-3)، C22:5 (n-3) و C22:6 (n-3) در نمونه پنیر سیاه‌مزگی بیش‌تر از آب پنیر بوده است. در نمونه شاهد پنیر سیاه‌مزگی بر خلاف نمونه آب پنیر آن، مقادیر اندکی C20:5 (n-3) و C22:5 (n-3) مشاهده گردید. تعداد بیش‌تری اسید چرب در پروفایل اسید چرب پنیر سیاه‌مزگی مشاهده گردید. بخش آب پنیر فاقد اسیدهای چربی نظیر C14:1، C15:1، C18:3 (n-6) و C20:3 (n-3) بوده است. محتوای اسیدهای چرب بلند زنجیره خانواده امگا-۳ و همچنین نسبت اسیدهای چرب n-3/n-6 نیز در نمونه‌های پنیر سیاه‌مزگی در مقایسه با نمونه آب پنیر، بیش‌تر بود. اما در عوض محتوای اسیدهای چرب بلند زنجیره (PUFA) در نمونه‌های آب پنیر بیش‌تر بود. بررسی پروفایل اسید چرب روغن‌های استحصالی از آب پنیر، نشان داد که بخشی از چربی موجود در شیر در جریان پروسه تولید پنیر، در ساختار پنیر حفظ نشده و با باقی ماندن در بخش آب پنیر، از دسترس خارج می‌گردد. در جدول ۱، همچنین پروفایل اسیدهای چرب پنیر سیاه‌مزگی تولید شده در تیمار شاهد، تیمار ۰/۵ و ۱ درصد غنی شده با روغن ریزپوشانی شده ماهی مشاهده می‌گردد. مجموع اسیدهای چرب غیراشباع و اسیدهای چرب اشباع در تیمار ۰/۵ درصد، به‌ترتیب ۴۴/۴۱ و ۵۶/۶۱ گرم در ۱۰۰ گرم چربی و در تیمار ۱ درصد به‌ترتیب ۴۵/۶۴ و۵۴/۴۰ گرم در ۱۰۰ گرم چربی بوده است. نسبت اسیدهای چرب PUFA/SFA، در تیمار ۰/۵ درصد ۰/۷۸ و این نسبت در تیمار ۱ درصد ۰/۸۳ بوده است. دپارتمان سلامتی انگلستان نسبت مناسب بین PUFA/SFA را بین ۰/۴۵ تا ۰/۷۲ تعریف نموده است (HMSO, 1994). در تحقیق حاضر، تفاوت معنی‌داری در محتوای اسید چرب C14:0 در بین تیمارها مشاهده گردید ($p<0.05$)، بیش‌ترین مقدار C14:0 متعلق به تیمار شاهد فاقد روغن ماهی اضافه شده‌است. نتایج مشابهی توسط Hejazian و همکاران (۲۰۱۶) گزارش گردیده‌است. در محتوای اسید چرب C16:0 در تحقیق حاضر، تفاوت بین تیمارها، معنی‌دار نبود ($p>0.05$). در ارتباط با اسید چرب C18:0، نیز تفاوت معنی‌داری بین تیمارها مشاهده نگردید؛ اما با این حال، تیمار شاهد دارای کم‌ترین مقدار در بین تیمارها بود.

در ادامه بررسی پروفایل اسیدهای چرب تحقیق حاضر، می‌توان میزان اسیدهای چرب امگا-۳ که طی فرایند ریزپوشانی کردن به پنیرهای مورد نظر اضافه شده است را مورد بحث قرار داد. با توجه به غنی‌سازی روغن امگا-۳ در تحقیق حاضر، محتوای C18:3 در تیمارهای ۰/۵ درصد و ۱ درصد به‌ترتیب ۱/۷۲ و ۱/۷۳ درصد در ۱۰۰ گرم چربی بوده است. این مقادیر بسیار بیش‌تر از مقادیر گزارش شده توسط Hejazian و همکاران (۲۰۱۶) بوده است. در تحقیق ایشان، میزان این اسید چرب در تیمار حاوی ۱ و ۲ درصد روغن ریزپوشانی شده، به ترتیب ۰/۱۳ و ۰/۱۷ گرم در ۱۰۰ گرم چربی گزارش گردیده است، در بررسی اسیدهای چرب بلند زنجیره خانواده امگا-۳ در نمونه‌های مختلف پنیر سیاه‌مزگی (نمونه شاهد و نمونه‌های غنی‌سازی شده)، مقادیر بیش‌تر اسیدهای چرب C20:3، C20:5، C22:5 و C22:6 در نمونه‌های تیمار شده در مقایسه با نمونه شاهد (کنترل) مشاهده گردید. این تفاوت‌ها، حتی بین تیمارهای ۰/۵ و ۱ درصد غنی‌سازی هم مشاهده گردید و نمونه تیمار ۱ درصد دارای مقادیر بیش‌تری از این اسیدهای چرب در مقایسه با نمونه تیمار ۰/۵ درصد بود. تفاوت معنی‌داری در مقدار اسید چرب DHA بین تیمارها مشاهده گردید ($p<0.05$). مقادیر بیش‌تر اسیدهای چرب بلند زنجیره چند غیراشباعی (PUFA) و همچنین مقادیر بیش‌تر اسیدهای چرب بلند زنجیره خانواده امگا-۳ نیز در تیمارهای ۰/۵ و ۱ درصد در مقایسه با تیمار شاهد (کنترل) مشاهده گردید. مقدار اسیدچرب بلند زنجیره C20:5 (n-3, EPA) در تیمار ۰/۵ و ۱ درصد پنیر سیاه‌مزگی به‌ترتیب ۳۳ و ۶۲ درصد بیش‌تر از نمونه شاهد پنیر سیاه‌مزگی بوده است. مقدار دیگر اسید چرب بلند زنجیره این خانواده، یعنی C22:6 (n-3, DHA) نیز در تیمارهای ۰/۵ و ۱ درصد به‌ترتیب ۴/۲۵ برابر و ۱۱/۷۵ برابر مقدار آن در نمونه شاهد بوده‌است. این نتایج بیان‌گر گیرانداختن اسیدهای چرب مورد استفاده در پروسه تولید پنیر و به‌عبارتی انجام غنی‌سازی پنیر با روغن ماهی ریزپوشانی شده می‌باشد. گزارش‌های مشابه‌ای از غنی‌سازی انواع مختلف پنیر با روغن ریزپوشانی شده ماهی و سایر روغن‌ها موجود می‌باشد. از جمله این مطالعات می‌توان به بررسی کیفیت انواع مختلف پنیرهای غنی شده با اسیدهای چرب امگا-۳ از منابع گیاهی و جانوری اشاره نمود. Bermúdez-Aguirre و Barbosa-Cánovas (۲۰۱۱) به موفقیت آمیز بودن کار غنی‌سازی انواع مختلف پنیرهای مورد مطالعه اشاره نموده‌اند. البته میزان موفقیت در پنیرهای مختلف و نوع روغن مورد استفاده متفاوت گزارش گردیده است. برای این موضوع، دلایل مختلفی از جمله مقادیر مختلف آب

به‌کار گرفته شده برای شستن پنیر که باعث اکسیده شدن روغن و از دست رفتن مواد مغذی پنیر می‌گردد، ذکر گردیده است. این محققین بیان نموده‌اند که میزان غنی‌سازی انواع مختلف پنیر خصوصا پنیر چدار (Cheddar cheese) در حدی بوده است که مصرف متعادل روزانه (۵۰ تا ۱۰۰ گرم) آن بتواند در پیشگیری از بیماری‌های قلبی در افراد موثر واقع شود (Bermúdez-Aguirre and Barbosa-Cánovas, 2011). مقادیر افزایش یافته EPA و DHA در نمونه پنیر نرم تولیدی از شیر بز نیز توسط Hughes و همکاران (۲۰۱۲) گزارش گردیده است. مجموع محتوای این دو اسید چرب در تیمارهای غنی‌سازی شده پنیر فاقد اختلاف معنی‌دار بوده ولی این تیمارها با نمونه شاهد (کنترل) دارای اختلاف معنی‌دار بوده که نشان‌دهنده موفقیت‌آمیز بودن کار غنی‌سازی پنیر مذکور با روغن ماهی بوده است.

پراکسید (PV)

محصولات لبنی به‌طور کلی محصولات غذایی سالم بوده و در ضمن حاملین و ناقلین مناسبی برای انتقال اسیدهای چرب بلند زنجیره خانواده امگا-۳ در نظر گرفته می‌شوند. مطالعات نشان داده‌اند که محصولات لبنی حاوی روغن ماهی ممکن است تا حدود زیادی در ثبات اکسیداسیونی خود متفاوت باشند (Let *et al*., 2007; Riediger *et al*., 2009). روغن ماهی و سایر آبزیان به‌واسطه دارابودن اسیدهای چرب بلند زنجیره چندغیراشباعی نسبت به اکسیداسیون بسیار حساس می‌باشند. به سبب همین حساسیت بالا، در عمل‌آوری روغن ماهی و تولید غذاهای غنی شده با روغن ماهی بایستی نهایت دقت به‌عمل آید تا میزان اکسیداسیون به حداقل رسیده و محصول غذایی تا پایان دوره نگهداری دارای کیفیت مطلوب باشد. اندازه‌گیری محصولات اولیه و ثانویه اکسیداسیونی جهت بررسی کیفیت اکسیداسیونی محصول صورت می‌پذیرد. مقادیر پراکسید نمونه‌های پنیر سیاه‌مزگی در روزهای صفر، ۳۰ و ۶۰ پس از تولید در جدول ۲ آورده شده است. همان‌طورکه در جدول ۲ مشاهده می‌گردد، به استثنای محتوای پراکسیدها در روز صفر، اختلاف بین نمونه‌های پنیر در روزهای نگهداری، قابل ملاحظه و معنی‌دار نبوده است. محتوای پراکسیدها در تمامی تیمارهای تحقیق با افزایش زمان نگهداری، روند افزایشی داشت، اما بااین‌حال عدد پراکسید در طول مدت نگهداری از حد مجاز تعیین شده (حداکثر ۲ میلی‌اکی‌والان‌گرم در کیلوگرم) تجاوز نکرد (Partovi, 2014).

جدول ۲- مقادیر پراکسید(برحسب میلی‌اکی‌والان اکسیژن در کیلوگرم چربی) در نمونه‌های پنیر سیاه‌مزگی

روز نگهداری	تیمار شاهد	تیمار ۰/۵ درصد	تیمار ۱ درصد
صفر	۰/۲۴۷ ± ۰/۰۰۰ ^{Cc}	۰/۶۴۷± ۰/۰۰۲ ^{Ac}	۰/۴۴۲± ۰/۰۰۱ ^{Bc}
۳۰	۰/۹۵۶± ۰/۰۲۱ ^{Ab}	۰/۹۶۲± ۰/۰۲۵ ^{Ab}	۰/۹۵۲± ۰/۰۵۳ ^{Ab}
۶۰	۱/۸۸۳± ۰/۰۵۰ ^{Aa}	۱/۸۲۱± ۰/۰۰۹ ^{Aa}	۱/۹۰۸± ۰/۰۲۱ ^{Aa}

داده‌های جدول شامل میانگین± انحراف معیار است. (n= ۳)

حروف بزرگ (A,B,..) در هر سطر اختلاف معنی‌دار بین تیمارها می‌باشد.

حروف کوچک (a,b,..) در هر ستون نشانه تاثیر زمان نگهداری بر محتوای پراکسیدها می‌باشد.

پراکسید، محصول اولیه اکسیداسیون مواد چرب است و به‌طور کلی هر قدر که درجه غیراشباعی روغن‌ها بیش‌تر باشد روغن‌ها و چربی‌ها آمادگی بیش‌تری را برای اکسیداسیون دارا می‌باشند. وقتی که میزان پراکسید به حد معینی برسد، تغییرات مختلفی در روغن‌ها و چربی‌ها صورت گرفته و مواد فرار آلدهیدی و کتونی که در ایجاد بو و طعم نامطلوب در مواد چرب مؤثرند، ایجاد می‌گردند. بدین جهت پراکسید تولید شده گرچه مستقیماً سبب بو و طعم نامطلوب در مواد چرب نیست، ولی معرف درجه پیشرفت اکسیداسیون می‌باشد (Razavi Shirazi, 2002). این ترکیبات عمر محدودی داشته و سرانجام اکسیده می‌شوند، هنگامی‌که این مسئله رخ می‌دهد، دوره اکسیداسیون کند پایان یافته و به دنبال آن افزایش سریع پراکسید یا اکسیداسیون سریع مشاهده می‌گردد (Hultin, 1994). بیان گردیده است که ریزپوشانی کردن روغن ماهی راهی بسیار مناسب و کارآمد برای محافظت آن در برابر اکسیداسیون و پوشش‌دهی طعم و عطر نامطلوب روغن ماهی می‌باشد (Kolanowski and Weißbrodt, 2007). تکنولوژی ریزپوشانی کردن مزایای بسیار زیادی از جمله حفاظت روغن از اکسیژن و نور و همچنین پراکنش بهتر پودر روغن ریزپوشانی شده در ماده غذایی را برای غنی‌سازی انواع غذاها فراهم نموده‌است (Stratulat *et al*., 2015). مقادیر تقریبا برابر و بدون تفاوت معنی‌دار در محتوای پراکسید در تیمارهای تحقیق حاضر، بیان‌گر تاثیرگذاری ریزپوشانی روغن ماهی در کاهش اکسیداسیون اسیدهای چرب بلند زنجیره روغن ماهی می‌باشد.

تیوباربیتوریک اسید (TBA)

شاخص TBA، میزان محصولات ثانویه اکسیداسیون به‌ویژه آلدهیدها را نشان می‌دهد. از تیوباربیتوریک اسید به‌طور گسترده به‌عنوان یک شاخص برای اندازه‌گیری درجه اکسیداسیون چربی در مطالعات بسیاری از محققان استفاده شده است (Fan *et al*., 2008;

(Ozogul *et al.*, 2008). وجود مواد واکنشی TBA به علت اکسیداسیون لیپیدها است که در طی آن پراکسیدها به آلدهید و کتون اکسیده می‌شوند (Lindsay, 1991). مقادیر تیوباربیتوریک اسید در جدول ۳ آورده شده‌است.

جدول ۳- مقادیر تیوباربیتوریک اسید(میلی‌گرم مالون دی‌آلدئید در ۱۰۰۰ گرم پنیر)در نمونه‌های پنیر سیاه‌مزگی

روز نگهداری	تیمار شاهد	تیمار ۰/۵ درصد	تیمار ۱ درصد
صفر	۰/۰۴۰± ۰/۰۰۶ Ab	۰/۰۳۹± ۰/۰۰۰ Ab	۰/۰۳۹± ۰/۰۰۰ Ab
۳۰	۰/۰۶۲± ۰/۰۰۲ Ab	۰/۰۵۶± ۰/۰۰۱ Ab	۰/۰۵۴± ۰/۰۰۴ Aab
۶۰	۰/۰۸۷ ±۰/۰۰۷ Aa	۰/۰۸۹± ۰/۰۰۷ Aa	۰/۰۷۰± ۰/۰۰۴ Aa

داده‌های جدول شامل میانگین ± انحراف معیار است. (n= ۳)

حروف بزرگ (A,B,..) در هر سطر اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در سطح ۵ درصد می‌باشد.

حروف کوچک (a,b,..) در هر ستون نشانه تاثیر زمان نگهداری بر محتوای تیوباربیتوریک اسید می‌باشد.

بر اساس نتایج جدول ۳، مقادیر تیوباربیتوریک اسید برخلاف شاخص پراکسید در هر سه تیمار با گذشت زمان افزایش کمی را نشان داد. میزان TBA در تیمار ۰/۵ درصد نسبت به سایر تیمارها در پایان روز ۶۰ام افزایش بیش‌تری داشته است اما با این حال تفاوت معنی‌داری با دو تیمار دیگر نشان نداد(p>۰/۰۵).از آن‌جا که مالون‌دی‌آلدهید از تجزیه هیدروپراکسیدها به‌دست می‌آید، روزهای ابتدایی نگهداری مقدار آن پایین بوده‌است. اما پس‌از گذشت زمان که مقدار محصولات اولیه اکسیداسیون افزایش پیدا کردند شروع به تجزیه شدن کرده و مقدار تیوباربیتوریک اسید افزایش می‌یابد. بررسی محصولات اولیه و ثانویه اکسیداسیونی (جدول ۲ و ۳) نشان داد که به استثنای محتوای پراکسیدها در روز صفر، اختلاف بین نمونه‌ها در روزهای نگهداری به‌لحاظ محتوای پراکسیدها و تیوباربیتوریک اسید، معنی‌دار و قابل ملاحظه نبوده است. گزارش‌های مشابه متعددی در این زمینه وجود دارد که در آن‌ها به عدم تفاوت معنی‌دار در میزان تولیدات اکسیداسیونی بین نمونه‌های شاهد با نمونه‌های غنی‌سازی شده با روغن ماهی ریزپوشانی شده اشاره گردیده است که از جمله آن‌ها می‌توان به تحقیق Ye و همکاران (۲۰۰۹)، Hughes و همکاران (۲۰۱۲) و Stratulat و همکاران (۲۰۱۴و ۲۰۱۵)اشاره نمود. از جمله عوامل ذکر شده برای این موضوع، تاثیر پروسه ریزپوشانی کردن روغن ماهی بیان شده است که مانع تماس روغن با عوامل تاثیرگذار بر اکسیداسیون عنوان گردیده‌است (Stratulat *et al.*, 2015). خاصیت حفاظتی پروتئین‌های شیر در خلال دلمه بستن پنیر و واکنش‌های متقابل بین پروتئنی-چربی، نیز از عوامل موثر بر کاستن اکسیدسیون چربی ذکر گردیده است (Hughes *et al.*, 2012)، که البته تاثیرگذاری آن بر پنیرهای مختلف با پروسه‌های مختلف تولید بررسی نگردیده است.

مقادیر ترکیبات شیمیایی

مقادیر ترکیبات شیمیایی پنیر سیاه‌مزگی در نمونه شاهد و نمونه‌های غنی شده با روغن ماهی در جدول شماره ۴ مشاهده می‌گردد.

جدول ٤- میانگین ترکیبات شیمیایی نمونه‌های پنیر سیاه‌مزگی (درصد) در روز تولید

ترکیب شیمیایی	تیمار شاهد	تیمار ۰/۵ درصد	تیمار ۱ درصد
پروتئین	۱۱/۹۳۷± ۰/۴۴۸ b	۱۴/۵۳۰± ۰/۰۰۰ a	۱۵/۴۸۰± ۰/۰۰۰ a
چربی	۲۹/۹۰۷± ۱/۱۳۶ a	۲۹/۹۱۰± ۰/۰۲۴ a	۳۰/۴۵۳± ۰/۲۲۰ a
رطوبت	۵۵/۵۴۸± ۱/۰۴۵ a	۵۳/۰۸۱± ۱/۷۷۰ ab	۵۱/۹۰۱± ۱/۵۴۹ b
خاکستر	۲/۸۰۸± ۰/۲۰۵ a	۲/۵۸۰± ۰/۰۹۳ a	۲/۱۷۶± ۰/۱۲۹ a

داده‌های جدول شامل میانگین ± انحراف معیار است. (n= ۳)

حروف کوچک (a,b,..) در هر سطر اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در سطح ۵ درصد می‌باشد.

همان‌طورکه در جدول ۴ مشاهده می‌گردد، اختلاف در محتوای پروتئین نمونه‌های پنیر سیاه‌مزگی قابل ملاحظه و معنی‌دار بوده است. بیش‌ترین میزان پروتئین در نمونه حاوی ۱ درصد روغن ریزپوشانی شده ماهی مشاهده گردید. علت این امر، می‌تواند استفاده از پروتئین آب پنیر به‌کار گرفته شده در روکش روغن ریزپوشانی شده باشد. اگرچه تفاوت محتوای چربی در بین نمونه‌ها معنی‌دار نبوده ولی مقادیر بیش‌تری چربی در نمونه حاوی ۱ درصد روغن ریزپوشانی شده مشاهده گردید. Stratulat و همکاران (۲۰۱۵) نیز به محتوای بیش‌تر پروتئین و چربی

در نمونه‌های پنیر غنی شده با ویتامین D و روغن امگا-۳ اشاره داشته‌اند.

ارزیابی حسی پنیر سیاه‌مزگی

همان‌طورکه اشاره گردید، روغن ماهی و سایر آبزیان به‌واسطه دارا بودن اسیدهای چرب بلند زنجیره چندغیراشباعی نسبت به اکسیداسیون بسیار حساس می‌باشند. استفاده مستقیم (بدون روکش شدن یا ریزپوشانی کردن) از روغن ماهی در غنی‌سازی مواد غذایی، علاوه بر قابل تشخیص بودن بو و طعم روغن ماهی (Kolanowski and Laufenberg, 2006)، به‌واسطه تولید محصولات اکسیداسیونی، طعم نامطلوب اکسیده شدن نیز در محصول غذایی ایجاد می‌گردد (Kolanowski and Weißbrodt, 2007). به‌طور معمول برای بررسی تاثیرات عمل‌آوری‌های مختلف و ایجاد تغییر در پروسه تولید محصول و اثرگذاری آن بر بازارپسندی محصول نهایی، از ارزیابی حسی استفاده می‌گردد. نتیجه ارزیابی حسی نمونه شاهد و نمونه‌های غنی شده با روغن ریزپوشانی شده ماهی در جدول ۵ آورده شده است.

جدول ۵- ارزیابی حسی پنیر سیاه‌مزگی

شاخص حسی	تیمار شاهد	تیمار ۰/۵ درصد	تیمار ۱ درصد
رنگ	۷/۴۶± ۰/۸۳ [a]	۷/۴۶± ۰/۹۱ [a]	۸/۱۳± ۰/۸۳ [a]
عطر	۷/۸۶± ۰/۶۳ [a]	۷/۸۶± ۰/۸۳ [a]	۷/۹۳± ۰/۷۹ [a]
طعم و مزه	۷/۷۳± ۰/۷۹ [a]	۷/۸۰± ۰/۶۷ [a]	۷/۹۳± ۰/۷۰ [a]
ظاهر	۷/۹۳± ۰/۷۹ [a]	۷/۹۳± ۰/۷۹ [a]	۸/۰۶± ۰/۷۰ [a]
بافت	۷/۶۶± ۰/۷۲ [a]	۷/۹۳± ۰/۷۹ [a]	۷/۰۶± ۰/۷۹ [a]
مقبولیت کلی	۷/۶۶± ۰/۶۱ [a]	۷/۹۳± ۰/۷۰ [a]	۸/۰۰± ۰/۸۳ [a]

داده‌های جدول شامل میانگین ± انحراف معیار است.

حروف کوچک (a,b,..) در هر سطر اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در سطح ۵ درصد می‌باشد.

نتایج حاصل از ارزیابی حسی پنیرهای تولید شده با استفاده از ارزیابان حسی، نشان داد که تفاوت معنی‌داری در فاکتورهای رنگ، عطر، طعم و مزه، ظاهر و بافت بین تیمارها مشاهده نشد. نمونه‌های غنی‌سازی شده با روغن ریزپوشانی شده ماهی، مورد اقبال بیش‌تری قرار گرفتند. این امر می‌تواند به‌واسطه طعم مطلوب‌تر ناشی از افزودن روغن ماهی باشد. در مورد فاکتور رنگ، نمونه تیمار پنیر غنی‌سازی شده ۱ درصد مورد پذیرش بیش‌تری توسط آن‌ها قرار گرفت، که می‌تواند ناشی از رنگ زردتر این محصول در مقایسه با دو تیمار دیگر باشد. به‌طور کلی در مجموع امتیازاتی که به نمونه‌ها داده شده است، تیمار ۱ درصد مورد مقبولیت بیش‌تری نسبت به دو تیمار قرار گرفت. ارزیاب‌ها در ارزیابی حسی نمونه‌ها از نظر بافت، بو، طعم و مزه تفاوت معنی‌داری قائل نشدند($p>0/05$). در نمونه‌های غنی‌شده با توجه به اضافه کردن روغن امگا-۳ ریزپوشانی شده به‌درستی بو و طعم نامطلوب ماهی پوشش داده شد و در نمونه‌ها حس نامطلوبی را ایجاد نکردند. Ye و همکاران (۲۰۰۹) نشان دادند که نمونه‌های پنیر غنی شده با روغن ماهی از نظر خصوصیات حسی با نمونه شاهد فاقد روغن ماهی اختلاف معنی‌دار آماری ندارد که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد. نتایج مشابهی از تاثیر مثبت پروسه ریزپوشانی کردن در حفاظت از روغن ماهی و ممانعت از ایجاد بو و طعم نامطلوب توسط Bermúdez-Aguirre و Barbosa-Cánovas (۲۰۱۱) و Renuka و همکاران (۲۰۱۶) گزارش گردیده است. نتایج ارزیابی حسی Hejazian (۲۰۱۸) در تمامی تیمارها به لحاظ رنگ تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد که در راستای این پژوهش می‌باشد.

نتیجه‌گیری

نتایج تحقیق حاضر و بررسی پروفایل اسید چرب پنیر سیاه‌مزگی نشان داد که پروسه غنی‌سازی این پنیر با روغن ریزپوشانی شده ماهی موفقیت آمیز بوده است. پروفایل اسید چرب نمونه‌های تیمار شده بهبود یافته و نسبت اسیدهای چرب بلند زنجیره چندغیراشباعی و همچنین مجموع اسیدهای چرب غیراشباع افزایش نشان داد. علیرغم افزایش محصولات اکسیداسیونی در نمونه‌های تیمار شده نسبت به نمونه شاهد، تمامی نمونه‌ها به لحاظ خصوصیات فیزیکوشیمیایی و ارزیابی حسی در وضعیت مطلوبی برای مصرف قرار داشتند. استفاده از پروسه روکش کردن یا ریزپوشانی کردن روغن ماهی، سبب گردید تا تولیدات اکسیداسیونی به حداقل میزان ممکن کاهش یافته و غنی‌سازی پنیر سیاه‌مزگی با روغن بسیار باارزش ماهی تاثیر منفی بر خصوصیات حسی محصول نداشته باشد.

منابع

Augustin, M.A., Sanguansri, L. and Oliver, C.M. 2010. Functional properties of milk constituents: Application for microencapsulation of oils in spray-dried emulsions – A mini review. *Dairy Science and Technology*, 90: 137-146.

AOAC. 2005. Official methods of analysis (18th ed.). Maryland, USA: Association of Official Analytical Chemists International.

Bakar, J., Zakipour Rahimabadi, E. and Che Man, Y.B. 2008. Lipid characteristics in cooked, chill-reheated fillets of Indo-Pacific king mackerel (*Scomberomorous guttatus*). *LWT – Food Science and Technology*, 41: 2144-2150.

Bermúdez-Aguirre, D. and Barbosa-Cánovas, G. V. 2011. Quality of selected cheeses fortified with vegetable and animal sources of omega-3. *LWT - Food Science and Technology*, 44: 1577-1584.

Daniel Estrada Andino, J. 2007. Production and processing of a functional yogurt fortified with microencapsulation omega-3 and vitamin E. Master of Science Thesis, Louisiana State University.

Egan, H., Kirk, R.S. and Sawyer, T.R. 1997. Pearson's chemical analysis of foods. 9th edition. Churchill Livingtone, Edinburgh, Scotland, UK. PP.609-643.

Fan, W., Chi, Y. and Zhang, S. 2008. The use of a tea polyphenol dip to extend the shelf life of silver carp (*Hypophthalmicthys molitrix*) during storage in ice. *Food Chemistry*, 108(1):148-153.

Farbod, F., Kalbasi, A., Moini, S., Emam-Djomeh, Z., Razavi, H., Mortazavi, A. and Beheshti, H. R. 2013. The effects of storage time on physiochemical, rheological, microstructural and sensory properties of Feta cheese fortified with fish and olive oils. *Journal of Nutrition and Food Science*, 3(5): 2-8.

Firestone, D. 1998. Official Methods and Recommended practices of the American Oil Chemists Society, 3: pp 1-62.

Ganesan, B., Brothersen, C. and McMahon, D. J. 2011. Fortification of Cheddar cheese with vitamin D does not alter cheese flavor perception. *Journal of Dairy Sciences*, 94: 3708-3714.

Grag, M.L., Wood, L.G., Singh, H. and Moughan, P. J. 2006. Means of delivering recommended levels of long chain n-3 polyunsaturated fatty acids in human diets. *Journal of Food Science*, 71(5): 66-71.

Harlioğlu, A.G. 2012. Fatty acid composition, fat soluble vitamins and cholesterol content of farmed rainbow (*Oncorhynchus mykiss*). *Pakistan Journal of Zoology*, 44(4): 1013-1019.

Hayes, M., Coakley, M., O'sullivan, L., Stanton, C. and Fitzgerald, G. F. 2006. Cheese as a delivery vehicle for prpbiotics and biogenic substances. *Australian journal of Dairy Technology*, 61:132-141.

Hejazian, S. R. 2018. Investigation and production of functional cheese containing Caspian Kilka fish oil. Iranian Journal of Food Science and Technology, 78(15): 323- 332 [In Persian].

Hejazian, S. R., Hatami Takami, S. Z. and Ghanbari Shendi, E. 2016. Sensorial properties, chemical characteristics and fatty acids profile of cheese fortified by encapsulated KillKa fish oil. *Modern Applied Science*, 10(3): 208-213.

HMSO.1994. Nutritional aspects of cardiovascular disease (report on health and social subjects' No. 46. London: HMSO.

Hughes, B.H., Brian Perkins, L., Calder, B.L., and Skonberg, D.I. 2012. Fish oil fortification of soft goat cheese. *Journal of Food Science*, 77(2):s128-s133.

Hultin, H.O. 1994. Oxidation of lipids in seafoods. In: Shahidi F and Botta JR. (Eds.), Seafoods: chemistry, processing technology and quality, Chapman & Hall, Boston, MA. 49-74.

Jaczynski, J. 2008. Protein and lipid recovery from food processing by-products using isoelectric solubilization/precipitation. *Journal of Chemistry*, (5): 1-32.

Jafarpour, S. A., Sharifi, E. and Hosseini, M. H. 2018. Evaluating the stability and controlling the oxidation rate of rainbow trout fish oil (*Oncorhynchus mykiss*) in nanocapsules containing clove essential oil (*Syzyginum arimaticum*). *Iranian Scientific Fisheries Journal*, 26(6): 57-69 [In Persian].

Jamshidi, A., Shabanpour, B., Pourashouri, P. and Raeisi, M. 2019. Optimization of encapsulation of fish protein hydrolysate and fish oil in W1/O/W2 double emulsion: Evaluation of sensory quality of fortified yogurt. *Journal of Food Processing and preservation*, 43(9): e14063.

Kolanowski, W. and Weißbrodt, J. 2007. Sensory quality of dairy products fortified with fish oil. *International Dairy Journal*, 17(10):1248- 1253.

Kolanowski, W. and Laufenberg, G. 2006. Enrichment of food products with polyunsaturated fatty acids by fish oil addition. *European Food Research and Technology*, 222: 472-477.

Kromhout, D., Yasuda, S., Geleijnse, J. M. and Shimokawa, H. 2012. Fish oil and omega-3 fatty acids in cardiovascular disease: do they really work. *Journal of European Heart*, 33(4):436-443.

Let, M. B., Jacobsen, C. and Meyer, A.S. 2007. Lipid oxidation in milk, yoghurt, and salad dressing enriched with neat fish oil or pre-emulsified fish oil. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 55: 7802-7809.

Lindsay, R.C. 1991. Flavor of fish. Paper presented at 8th World Congress of Food science and Technology, 29th September-4th October, Toronto, Canada.

Namaulema, A., Muyonga, J. H. and Kaaya, A. N. 1999. Quality deterioration in frozen Nile perch (*Lates niloticus*) stored at –13 and – 27˚C. *Food Research International*, 32(2): 151-156.

Ozogul, Y., Ozogul, F., Cicek, E., Polat, A. and Kuley, E. 2008. Fat content and fatty acid composition of 34 marine water fish species from the Mediterranean Sea. *International Journal of Food Science Nutrition*, 60(6): 464-475.

Partovi, R. 2014. Investigation of chemical and microbial properties of Siahmezgi cheese (traditional cheese of Guilan province) and separation of lactic acid bacteria using culture and analysis methods 16rDNA. Ph.D. Thesis. Tehran University [In Persian].

Ranken, M.D., Kill, R.C. and Baker, C.G.J. 1993. Food industries manual. London: Blackie Academic and Professional.

Razavi-Shirazi, H. 2002. Seafood Technology: Processing Science, Naghsh-e Mehr Publication, Tehran, Iran [In Persian].

Renuka, V., Ramasamy, D. and Dhinesh Kumar, V. 2016. Fortification of omega-3 fatty acids in processed cheese spread. *International Journal of Science, Environment*, 5 (4):2557-565.

Riediger, N. D., Othman, R. A., Suh, M., and Moghadasian, M. H. 2009. A systemic review of the roles of n-3 fatty acids in health and disease. *Journal of American Diet Association*, 109: 668-679.

Rosenberg, M. and Young, S.L. 1993. Whey proteins as microencapsulating agents. Microencapsulation of anhydrous milkfat- Structure evaluation. *Food Structure*, 12 (1) :31-41.

Safari, R., Valizadeh, R., Kadkhodaee, R., Alamolhodaei, N., Tahmasbi, A. and Naserian, A. 2012. Resistance of microencapsulated fish oil in the rumen and its effect on gas production and rumen degradability. *Iranian Journal of Animal Science Research*, 4(3): 265-273.

Stancheva, M., Dobreva, D., Merdzhanov, A. and Galunska, B. 2010. Vitamin Content and Fatty Acids Composition of Rain trout, Plodiv. University, PaisllHilendarski, *Bulgaria Scientific Papers Book*, 37: 117-123.

Stratulat, I., Britten, M., Salmieri, S., Fustier, P., St-Gelais, D., Champagne, C. P. and Lacroix, M. 2014. Enrichment of cheese with bioactive lipophilic compounds. *Journal of Functional Foods,* 6: 48-59.

Stratulat, I., Britten, M., Salmieri, S., Fustier, P., St-Gelais, D., Champagne, C. P. and Lacroix, M. 2015. Enrichment of cheese with vitamin D_3 and vegetable omega-3. *Journal of Functional Foods,* 13: 300-307.

Tamjidi, F., Nasirpour, A. and Shahedi, M. 2011. Physicochemical and sensory properties of yogurt enriched with microencapsulated fish oil. *Food Science and Technology International*. 8(8): 381-390.

Walther, B., Schmid, A. Sieber, R. and Wehrmüller R. S. K. 2008. Cheese in nutrition and health. *Dairy Science & Technology*. 88: 389-405.

Ye, A., Cui, J., Taneja, A., Zhu, X. and Singh, H. 2009. Evaluation of processed cheese fortified with fish oil emulsion. *Food Research International*, 42:1093-1098.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 17, No. 5, Dec- Jan 2021, p. 761-772

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۷، شماره ۵، آذر- دی ۱۴۰۰، ص.۷۷۲ -۷۶۱

Quality characteristics and fatty acid profile of Siahmezgi cheese fortified by encapsulated fish oil

E. Nejat Pirsaraii[1], E. Zakipour Rahimabadi[2*], A. Babakhani[3], E. Aminpour Daphchahi[1]

Received: 2020.07.03
Accepted: 2020.11.11

Introduction: There is a growing body of evidence which long chain omega-3 fatty acids from seafood (Particularly EPA and DHA), are not only beneficial for general health and well-being, but also play a role in preventing of many important diseases. For these reasons, many health associations recommend to eat seafood at least twice weekly. Omega-3 fatty acid fortification is one of the fastest growing trends in the food industry. Dairy products are particularly suitable for enrichment with long chain n-3 PUFAs, in terms of popularity with consumers and special storage condition. So, this research was carried out to investigate the nutritional value and the fatty acid profile of Siahmezgi cheese fortified with encapsulated fish oil.

Materials and Methods: For this purpose, at first, the microencapsulation process of fish oil with whey protein was performed at a ratio of 1:2 and the encapsulated oil was added in the process of producing Siahmezgi cheese. The treatments were as: control, treatment 1 (contained % 0.5 encapsulated fish oil) and treatment 2 (contained % 1.0 encapsulated fish oil). In this study, the determination of cheese fatty acid profile and sensory evaluation was performed at day 60 after cheese production and examination of peroxide value, thiobarbituric acid was performed at day 0, 30 and 60. Proximate analysis was calculated after cheese production, immediately.

Results and Discussion: A total of 22 types of fatty acids were identified in Siahmezgi cheese samples. The ratio of unsaturated fatty acids to saturated fatty acids in treatments 1 and 2 were 0.78 and 0.83, respectively. The content of EPA and DHA in treatment 1 (0.09, 0.16 %) and treatment 2 (0.16, 0.47 %) were significantly more than control treatment (0.06 and 0.04 %) ($p<0.05$). The content of thiobarbituric acid in all samples was much lower than the allowed level. Sensory evaluation of control and enriched treatments of Siahmezgi cheese showed that all cheeses were generally acceptable by the judges.

Key words: Siahmezgi cheese, Fortification, sensory analysis, Encapsulation

1, 2 and 3. M.Sc., Associate Professor and Assistant Professor, Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowmeh Sara.
(* Corresponding author; Email: e.zakipoor@guilan.ac.ir)